

5. Equipment for measuring the elastic modulus of the material under tension: pat. 201072395, Kitai. kl. G 01 N 3/52, 11.06.08.
6. A method of determining defects at the junctions rails: a.s. 59701, SSSR. kl. G 01 N 3/52, opubl. 01.01.41.
7. A method for determining of the module of normal elasticity: a.s. 1497491, kl. G 01 N 3/48, opubl. 30.07.1989.
8. A method for determining the modulus of the material elasticity: pat. 2272274, Ros. Federatsii. kl. G 01 N 3/32, opubl. 20.03.06.
9. Lapshin V.L., Glukhov A.V. Computer investigation of elastic-visco-plastic of mecano-reological model // Materialy Mezhdunarodnoi nauchnoi zaочноi konferentsii «Sovremennaya tekhnika i tekhnologii: issledovaniya i razrabotki»: sb. dokl. Lipetsk: Izd. tsentr «Gravis», 2011. P. 20-27.
10. Lapshin V.L., Glukhov A.V. Regression analysis of the forces of shock interaction of elastic-visco-plastic of mecano-reological model // Vestnik IrGTU. Irkutsk, 2011. № 10 (57). P. 44-49.
11. Lapshin V.L., Glukhov A.V. Research of residual deformations in shock interaction of elastic-visco-plastic of mecano-reological model // Modern technologies. System analysis. Modeling. 2011. Vyp. 4 (32). P. 39-45.
12. A method for determining the modulus of the material elasticity: pat. 2526233, Ros. Federatsiya. kl. G 01 N 3/48, 20.08.2014.
13. Panovko Ya.G. Fundamentals of applied theory of oscillations and theory of fluctuations and blow. L.: Politekhnik, 1990. 272 p.
14. Batuev G.S., Golubkov Yu.V., Efremov A.K., Fedosov A.A. Engineering methods of research of blow processes. M.: Mashinostroenie. 1977. 240 p.
15. Kil'chevskii N.A. Dynamic compression contact of solids. Blow. Kiev: Naukova dumka, 1976. 319 p.
16. Lapshin V.L., Glukhov A.V. Research of the viscous element of viscoelastic-plastic model // Systems. Methods. Technologies. 2011. № 4 (12). P. 14-19.
17. Rudykh A.V. Using a nonlinear viscous and plastic elements in mecano-reological model of blow process // Systems. Methods. Technologies, 2012. № 3 (15). P. 21-25.
18. Korn G., Korn T. Mathematical handbook for scientists and engineers. M.: Nauka, 1977. 832 p.
19. Lapshin V.L., Yashchenko V.P., Rudykh A.V. The research model of blow interaction of a spherical body with a flat surface of ore material // Vestnik IrGTU. 2006. № 2 (26). P. 110-115.
20. Timoshenko S.P. Theory of elasticity. L.; M.: ONTI. GI. red. tekhn.-teoreticheskoi lit., 1937. 451 p.
21. Lapshin V.L., Glukhov A.V. Investigation of the effect of elastic-viscous-plastic elements of mecano-reological model on parameters of its shock interaction // Materialy 65-oi Vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii SibADI «Orientirovannye fundamental'nye i prikladnye issledovaniya – osnova modernizatsii i innovatsionnogo razvitiya arkhitekturno-stroitel'nogo i dorozhno-transportnogo kompleksov Rossii». Omsk, 2011. Kn. 1. P. 54-59.
22. Lapshin V.L., Glukhov A.V., Rudykh A.V. Mathematical modeling of the vibratory motion particles of the material over the working body of the separator // Vestnik IrGTU. 2015. № 3 (98). P. 49-54.

УДК 629.11.012.813

Концептуальный подход к моделированию и оценке неупругого сопротивления в элементах поддрессоривания и виброзащиты автомобиля

С.П. Рыков^{1 a}, В.Н. Тарасюк^{1 b}, В.С. Коваль^{1 c}, Ж. Шахбат^{2 d}

¹Братский государственный университет, ул. Макаренко 40, Братск, Россия

²Монгольский государственный университет науки и технологии, ул. Энгельса 36, Улан-Батор, Монголия

^arsp7-8-48@rambler.ru, ^bTVN66@yandex.ru, ^ckoval.supra@yandex.ru, ^dwww.edu.mn

Статья поступила 24.03.2015, принята 18.04.2015

В большинстве современных исследований, касающихся плавности хода и вибронегруженности автомобилей, оценка демпфирующих свойств элементов поддрессоривания и виброзащиты осуществляется согласно идеальным представлениям о неупругом сопротивлении в процессе их деформирования. Обладая рядом неоспоримых достоинств, идеальные модели, в то же время, не отражают полностью, а иногда и противоречат истинным процессам гашения колебаний масс автомобиля. Проведенные комплексные исследования неупругого сопротивления (поглощающей способности) в автомобильных шинах, ориентированные на построение и математическое описание их выходных характеристик — характеристик нормальной жесткости для различных режимов нагружения колеса — позволили разработать основы теории неупругого сопротивления в пневматических шинах, ядром которой является так называемая эллиптическо-степенная модель. Очевидное достоинство эллиптическо-степенной модели заключается в том, что она строится не из априорного признания той или иной гипотезы о физической природе происходящих в шине процессов, а на реальных выходных характеристиках, в явном виде отражающих исследуемые явления. Далее, параметры модели для шины конкретного типоразмера являются константами, т. е. не зависят ни от эксплуатационного состояния, ни от режима нагружения колеса. Теория неупругого сопротивления (поглощающей способности) в пневматических шинах оказалась вполне применимой для построения моделей демпфирующей способности листовых рессор, резиновых и резинометаллических виброизоляторов, гидравлических амортизаторов, а также модели коэффициента сопротивления качению автомобильного колеса. Такой унифицированный подход к разработке моделей, основанный на математическом описании экспериментальных характеристик упругости (или рабочих диаграмм), позволяет получить значения коэффициентов неупругого сопротивления указанных элементов поддрессоривания как констант для элемента конкретного типоразмера, т. е. не изменяющихся в зависимости от эксплуатационного состояния и режима

нагружения и в то же время более точно отражающих реальную способность элементов гасить колебания масс автомобиля.

Ключевые слова: концептуальный подход; моделирование; экспериментальная оценка; пневматическая шина; гидравлический амортизатор; листовая рессора; резиновый виброизолятор; коэффициент сопротивления качению; неупругое сопротивление; эллиптическо-степенная модель; характеристики жесткости.

A conceptual approach to modeling and estimation of inelastic resistance in the elements of suspension and car vibration protection

S.P. Rykov^{1 a}, V.N. Tarasyuk^{1 b}, V.S. Koval^{1 c}, J. Shakhbat^{2 d}

¹Bratsk State University; 40, Makarenko St., Bratsk, Russia

²Mongolian University of Science and Technology; 36, Engels St., Ulan-Bator, Mongolia

^arsp7-8-48@rambler.ru, ^bTVN66@yandex.ru, ^ckoval.supra@yandex.ru, ^dwww.edu.mn

Received 24.03.2015, accepted 18.04.2015

Currently in most studies concerning smooth ride and vibration load, evaluation of the damping properties of the suspension elements and vibration protection is carried out according to the ideal concept of inelastic resistance in the process of their deformation. Having a number of advantages, ideal models, at the same time, do not fully reflect true damping processes for automobile masses. Sometimes ideal models contradict such processes. Comprehensive studies of inelastic resistance (absorption capacity) in automobile tyres have allowed developing some theoretical fundamentals for inelastic resistance in the pneumatic tyres. The core of the theory is so-called elliptical and power-law model. The studies have focused on building and mathematical description of output characteristics of automobile tyres – characteristics of normal stiffness for different loading conditions of the wheel. An obvious advantage of an elliptical power-law model is that it is based not on a priori recognition of the hypotheses about physical nature of processes happening in tyres, but on real output characteristics explicitly reflecting the phenomenon. The model parameters for a tyre of a specific size are constant, i.e. they depend on neither operating condition nor mode of wheel loading. It has been found out that the theory of inelastic resistance (absorption capacity) in pneumatic tyres is quite applicable for building models of the damping ability of the leaf springs, rubber and rubber-metal vibration dampers, hydraulic vibration suppressors, and models of the coefficient of rolling resistance of automobile wheels. Such a unified approach to modelling based on a mathematical description of experimental elasticity characteristics (or working diagrams) allows obtaining the values for coefficients of inelastic resistance of these suspension elements as constants for a particular size, i.e. as parameters which do not change due to the operational status and loading mode, and at the same time which reflect the true ability of the elements to suppress automobile mass vibrations.

Key words: conceptual approach; simulations; experimental evaluation; pneumatic tyre; hydraulic damper; leaf spring; rubber vibration insulator; coefficient of rolling resistance; surface resistance; elliptical power-law model; stiffness characteristics.

Введение. Концептуальный подход означает, что моделирование и оценка неупругого сопротивления в таких элементах поддресоривания и виброзащиты автомобиля, как пневматическая шина, листовая рессора, гидравлический амортизатор и резиновый виброизолятор, будут осуществляться с единых позиций, на базе ранее разработанной теории, при графическом представлении и математическом описании экспериментальных выходных данных характеристик, а также при создании методик упрощения моделей и расчета их параметров.

Острая конкуренция на мировом автомобильном рынке вынуждает фирмы-производители искать пути сокращения времени на разработку и доводку новых образцов автомобилей, к числу которых относится применение современных методов математического моделирования их движения по специальным испытательным дорогам.

Эти методы, ориентированные на широкое применение вычислительной техники и систем автоматизированного проектирования, позволяют уже на стадии проектного задания, используя мощные программные системы формирования и решения дифференциальных уравнений нелинейной механики для сложных динамических моделей автомобиля, исследовать и совершенствовать его системы поддресоривания и виброзащиты, оценивать показатели и характеристики плавности хода и нагруженности несущей системы.

Вместе с тем, узким местом использования подобных программных систем по-прежнему является отсутствие адекватных, теоретически и экспериментально обоснованных моделей, учитывающих преобразующие свойства пневматической шины и, в первую очередь, ее поглощающую и сглаживающую способность, а также демпфирующие свойства подвески и элементов виброзащиты автомобиля.

В настоящее время в большинстве исследований по плавности хода и вибронгруженности автомобилей оценка демпфирующих свойств элементов поддресоривания и виброзащиты осуществляется согласно идеальным представлениям о неупругом сопротивлении в процессе их деформирования. То есть, при моделировании демпфирования в пневматических шинах, амортизаторах, резиновых и резинометаллических виброизоляторах используется модель вязкостного трения, а в листовых рессорах — модель сухого трения [1–3; 21].

Обладая рядом неоспоримых достоинств, в частности линейным характером изменения сил трения, что не выводит дифференциальные уравнения движения эквивалентных колебательных систем автомобиля из класса линейных и позволяет решать их операторными методами, а также достаточно простой по методике и оборудованию экспериментальной оценкой коэффициентов трения, идеальные модели, в то же время, не отражают полностью, а иногда и противоречат истинным процессам гашения колебаний масс автомобиля.